

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 986**

21 Número de solicitud: 201131005

51 Int. Cl.:

G01N 29/04

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

15.06.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.02.2013

71 Solicitantes:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (52.0%)**

Serrano, 117

28006 Madrid ES;

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (8.0%)

y

**ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE
INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCIÓN - AIDICO -
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA
CONSTRUCCIÓN (40.0%)**

72 Inventor/es:

APARICIO SECANELLAS, Sofía;

RANZ GARCÍA, Javier;

GALÁN MORÓN, Raquel;

VILLANUEVA GONZÁLEZ, Eugenio;

GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, Margarita;

ANAYA VELAYOS, José Javier;

GARCÍA IZQUIERDO, Miguel Ángel;

FUENTES RAMÍREZ, José Vicente;

FERNÁNDEZ DÍAZ, Román;

CISCAR MARTÍNEZ, Vicent y

ALBERT PÉREZ, Vicente

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y SISTEMA INALÁMBRICO DE MEDIDA DEL GRADO DE FRAGUADO Y
ENDURECIMIENTO DE MATERIALES CEMENTICIOS PARA LA PREDICCIÓN DE
RESISTENCIAS MECÁNICAS.**

ES 2 394 986 A1

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 986**

21 Número de solicitud: 201131005

57 Resumen:

Procedimiento y sistema inalámbrico de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas.

El sistema inalámbrico de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios comprende un sensor ultrasónico, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, una red de comunicación inalámbrica compuesta por al menos dos nodos para la adquisición y procesamiento de señales electrónicas provenientes de sensores y un sistema informático, tal que el sistema informático calcula la resistencia mecánica del material cementicio. Por otro lado, el método comprende los siguientes pasos: capturar unos datos de temperatura T y humedad H , capturar una señal ultrasónica para la medida de velocidad de propagación V , capturar una señal ultrasónica para la medida del coeficiente de reflexión CR , enviar todos los registros anteriores de las señales sensoriales al nodo principal, procesar las señales para obtener los parámetros velocidad V y coeficiente de reflexión CR , enviar los datos obtenidos al sistema informático y calcular la resistencia mecánica mínima $R_C(V, CR, T, H)$ del material cementicio.

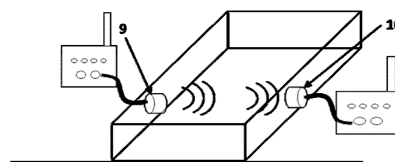


FIG. 8

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO Y SISTEMA INALÁMBRICO DE MEDIDA DEL GRADO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO DE MATERIALES CEMENTICIOS PARA LA PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS MECÁNICAS.

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento y sistema inalámbrico de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas.

10

La invención se encuadra en la Instrumentación para la Medida de las propiedades de los materiales. El sector de aplicación de la invención es la Construcción principalmente el control de calidad, tanto en la industria del prefabricado como en obra.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El primer uso de una tecnología para el control de fraguado-curado se realizó a partir de la monitorización de la temperatura interna en el material cementicio. La temperatura refleja cuando se producen las reacciones de hidratación durante el fraguado [Radjy et al., 94] [Parrot et al., 90]. Esta monitorización resulta incompleta, dado que aunque identifica el tiempo en que se producen las reacciones no permite evaluar la proporción de compuestos hidratados o la cantidad de cemento anhidro sobre el volumen total. Uno de los métodos más usados es el método de maduración, "The Maturity Method", el cual ha sido ampliamente utilizado en la bibliografía para monitorizar el curado. En el método de maduración [Carino, 84], [Pane, 02] se mide la variación de la temperatura durante la hidratación del hormigón para predecir la evolución de la resistencia a compresión. La mayor limitación de este método se debe a que además de variar la relación con cada composición del material cementicio, esta relación es muy sensible a la temperatura y humedad existentes en el

proceso real, variables que pueden ser muy diferentes a las estudiadas en el laboratorio.

Otros métodos que se han utilizado son los basados en la medida mediante penetrómetro o micro-penetrómetro [ASTM 5 99], con el sistema denominado VICAT. Este sistema permite medir mediante indentaciones la profundidad de indentación y establecer el principio y el final del fraguado. Este método solo puede ser utilizado en pastas de cemento, ya que las probabilidades de pinchar en un árido en un 10 hormigón son muy altas y resultaría medidas que introducirían un error significativo.

Los métodos basados en ultrasonidos son aptos para la monitorización del curado ya que la propagación de estas ondas mecánicas en el material estudiado nos puede aportar 15 un buen conocimiento del medio investigado. Por ejemplo, parámetros tales como el tiempo de vuelo, la atenuación, la variación del coeficiente de reflexión o el contenido en frecuencia de las ondas ultrasónicas están estrechamente relacionados con las propiedades mecánicas del material, en 20 particular en el periodo de formación (setting) y endurecimiento (hardening). Si estos parámetros se monitorizan a lo largo de todo el proceso pueden aportar una información muy útil para comprender la evolución del material. Debido a la potencia de los sistemas informáticos 25 actuales de bajo coste es posible extraer, en tiempo real, de las señales ultrasónicas otros parámetros de interés como energía, relaciones tiempo-frecuencia (wavelets) etc. que necesitan una carga de procesamiento elevada. Por estas causas el uso de ultrasonidos se presenta como uno de los 30 medios más prometedores para obtener una buena información del periodo de setting y hardening, obteniendo los datos directamente en obra.

Los estudios más relevantes en los que se evalúa la capacidad que tienen los ultrasonidos de monitorizar el 35 curado son los que utilizan dispositivos específicos de medidas y que monitorizan parámetros como:

- Velocidades de propagación de ondas longitudinales y transversales, [Reinhardt et al., 04] [Voight et al., 06].
- Potencia transmitida [Trtnik et al., 09].
- Coeficiente de reflexión [Subramaniam et al., 02],

5 [Acalla et al., 03]

Para las dos primeras se utilizan medidas de transmisión de las ondas ultrasónicas, con los sensores colocados alineados y enfrentados en las paredes de la celda de medida, donde se cura el material, el diseño de

10 estas celdas solo permite medir el curado en pastas de cemento. El tercer parámetro utiliza una configuración en pulso/eco para medir la variación del coeficiente de reflexión de las ondas ultrasónicas cuando éstas se propagan entre dos materiales con diferentes impedancias

15 acústicas. En este caso, se utiliza una pieza de material homogéneo, isótropo, del que se conozca sus propiedades de propagación de las ondas longitudinal y transversal y que una de sus caras esté pulida y plana para que funcione como interfase con el material cementicio.

20 En la década de los 90 se comenzó la investigación y desarrollo de la tecnología de redes inalámbricas (WSN) que permiten integrar sensores para monitorizar el estado de las estructuras (Structural Health Monitoring, SHM) [Phares et al., 05]. Numerosas publicaciones fueron dedicadas al

25 estudio de WSN para la evaluación de la integridad estructural [Santana et al., 06- Grosse et al., 06] y un exhaustivo análisis del estado del arte de estas redes para su utilización en la monitorización de estructuras puede encontrarse en [Lynch et al., 06].

30 En la literatura, muchos trabajos han estudiado el uso de la velocidad ultrasónica para la monitorización del proceso de curado y su relación con las medidas de la temperatura y humedad [Robeyst et al., 08; DelRío et al., 04]. Pero la mayoría de estos trabajos no usan redes

35 inalámbricas. Entre los trabajos que usan redes inalámbricas ninguno se centra en el procedimiento de

medición del fraguado [Aparicio et al., 10].

En lo que concierne a publicación de patentes, diferentes publicaciones de sistemas de monitorización usando ultrasonidos han aparecido en los últimos años para su aplicación en diversos campos, como por ejemplo en medicina [Peszynski et al., 10]. En lo que respecta a materiales cementicios, varias patentes han sido publicadas usando WSN [Hines et al., 07; Andrews, 08], pero ninguna se centra en los procesos de fraguado y endurecimiento de dichos materiales.

[Radjy et al., 94] Radjy, F.F. and Douglas, W.V., "Heat signature testing of concrete", in Scandella, R.J. (ed.) Structural Materials Technology: An NDT Conference (CRC Press, 1994).

[ASTM 99] ASTM C403/C403M-99, "Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1999.

[Carino, 84] Carino, N-J. "The maturity method: theory and application", Cement, Concrete and Aggregates 6 (2) (1984) 61-73.

[Pane et al., 02] Pane, I., and Hansen, W., "Concrete Hydration and Mechanical Properties Under Nonisothermal Conditions," ACI Materials Journal 99 (6) (2002), 534-542.

[Parrot et al., 90]. Parrott, L.J., et al., D., "Monitoring Portland cement hydration: Comparison of methods", Cement and Concrete Research 20 (6) (1990), 919-926.

[Reinhardt et al., 04] Reinhardt H.W. and Grosse C.U., "Continuous monitoring of setting and hardening of mortar and concrete", Construction and Building Materials 18 (3) (2004) 145-154.

[Voight et al., 06] Voigt T., et al., "Green and early age compressive strength of extruded cement mortar monitored with compression tests and ultrasonic techniques", Cement and Concrete Research 36 (5) (2006) 858-867.

- [Trtnik et al., 09] G. Trtnik et al. "Comparison between two ultrasonic methods in their ability to monitor the setting process of cement pastes", Cement and Concrete Research 39 (2009) 876-882.
- 5 [Subramaniam et al., 02] Subramaniam K. V. et al., "Ultrasonic technique for Monitoring Concrete Strength", ACI Materials Journal 99, (5), (2002) 458-462.
- [Acalla et al., 03] Y. Akkaya et al. "Nondestructive measurement of concrete strength gain by an ultrasonic wave reflection method", Materials and Structures 36, (2003) 10 507-514
- [Phares et al., 05] Phares B.M., et al., "Health Monitoring of Bridge Structures and Components Using Smart Structure Technology, Wisconsin Highway Research Program" Project 15 #0092-01-14, 257 pp, 2005.
- [Santana et al., 06] Santana-Sosa, H., et al., "Validation of a HF Spread Spectrum MultiCarrier Technology through real Link Measurements. European Transactions on Telecommunications (ETT)".17 (6) (2006) 651-657.
- 20 [Grosse et al., 06] Grosse, C.U. and Krüger, M., "Inspection and Monitoring of Structures in Civil Engineering". NDT.net, 11 (1) 2006.
- [Lynch et al., 06] Lynch, J.P. and Loh, K.J., "A Summary Review of Wireless Sensors and Sensors Networks for 25 Structural Health Monitoring". The Shock and Vibration Digest, 38 (2), (2006) 91-126.
- [Robeyst et al., 08] Robeyst, N., et al., "Monitoring the setting of concrete containing blast-furnace slag by measuring the ultrasonic p-wave velocity", Cement and 30 Concrete Research, 38 (10), (2008) 1169-1176.
- [Öztürk et al., 06] Öztürk, T., et al., "Improved ultrasonic wave reflection technique to monitor the setting of cement-based materials", NDT & E International, 39 (4), (2006) 258-263.
- 35 [DelRío et al., 04] Del Río, L.M., et al., "Characterization and hardening of concrete with ultrasonic

testing", Ultrasonics, 42 (1-9), (2004) 527-530.

[Aparicio et al., 10] Aparicio, S., et al., "A wireless monitoring system to study the setting and hardening processes of cementitious materials". NDT.net The e-Journal of Nondestructive Testing, 7 (2010) (10th European Conference on NDT, ECNDT 2010, Moscow, Russia, 2010).

[Peszynski et al., 10] Peszynski, M. et al., "Wireless ultrasound monitoring device", WO/2010/020939, 2010.

[Hines et al., 07] Hines, Jacqueline, H.; "Concrete maturity monitoring system using passive wireless surface acoustic wave temperature sensors", WO/2007/025172, 2007.

[Andrews, 08] Andrews, D. R.; "Hand-held ultrasonic inspection device with wireless communication means", EP20060253785, 2008.

15

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Para la forma de realización preferida de la invención, el sistema inalámbrico de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas de la presente invención comprende:

20

25

30

35

- al menos un sensor ultrasónico "SUS" para monitorizar unos parámetros elásticos de un material cementicio;
- al menos un sensor de temperatura "ST";
- al menos un sensor de humedad relativa "SH" que conjuntamente con el sensor de temperatura monitorizan unos parámetros energéticos/medioambientales;
- una red de comunicación inalámbrica "RIS" compuesta por al menos dos nodos para la adquisición y procesamiento de señales electrónicas provenientes de sensores;
- un sistema informático conectado al sensor de

temperatura, al sensor de humedad relativa y al sensor ultrasónico vía la red de comunicación inalámbrica;

tal que el sistema informático calcula una resistencia
5 mecánica del material cementicio a partir de los parámetros elásticos y los parámetros energéticos/medioambientales monitorizados.

En otra realización de la invención el sistema inalámbrico adicionalmente comprende un sistema de
10 acoplamiento "AS" del sensor ultrasónico, del sensor de temperatura y del sensor de humedad relativa al material cementicio.

Para cualquiera de las formas de realización anteriores, el sistema inalámbrico adicionalmente comprende
15 una unidad de calibración que lleva a cabo un procedimiento de calibración para la determinación del estado del fraguado y endurecimiento "CEFE".

Los parámetros elásticos están comprendidos por una velocidad de propagación "V" y un coeficiente de reflexión
20 "CR" y los parámetros energéticos/medioambientales están comprendidos por una temperatura "T" y una humedad "H".

El sistema informático comprende un nodo principal y al menos un nodo secundario tal que el nodo principal recoge todos los datos del nodo secundario y los envía al sistema
25 informático para su almacenamiento y procesamiento.

El sistema informático comprende un microcontrolador por cada nodo comprendido en la red inalámbrica, donde el microcontrolador comprende medios de implementación del sensor ultrasónico, del sensor de temperatura y del sensor
30 de humedad relativa. Los medios de implementación para el sensor ultrasónico adicionalmente comprenden:

- un módulo de potencia para proporcionar la suficiente energía como para soportar dos módulos de emisión-recepción ultrasónica de baja tensión;
- 35 • un módulo de sincronización ultrasónica que

sincroniza la emisión-recepción ultrasónica, incluso de manera inalámbrica entre diferentes nodos de la red;

- 5 • un sistema de contadores temporales por cada nodo para determinar el tiempo de vuelo de la señal ultrasónica con precisión mejor que las décimas de milisegundo.

10 Por otro lado, el procedimiento de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas para el sistema definido en una cualquiera de las formas de realización anteriores, comprende los siguientes pasos:

- 15 • capturar unos datos de temperatura T y humedad H mediante el sensor de temperatura "ST" y generar un registro T/H;
- capturar una señal ultrasónica para la medida de velocidad de propagación V mediante el sensor ultrasónico "SUS" y generar un registro V;
- 20 • capturar una señal ultrasónica para la medida del coeficiente de reflexión CR mediante el sensor ultrasónico SUS y generar un registro CR;
- enviar todos los registros anteriores de las señales sensoriales al nodo principal;
- 25 • procesar las señales para obtener los parámetros velocidad V y coeficiente de reflexión CR.
- enviar los datos obtenidos al sistema informático;
- calcular la resistencia mecánica mínima $R_c(V, CR, T, H)$ del material cementicio mediante la
- 30 expresión:

$$R_c(V, CR, T, H) = \min(R_c(V), R_c(CR), R_c(T, H))$$

donde $R_c(V) = a \cdot \exp(b \cdot V)$, donde a y b son unos parámetros de ajuste; $R_c(CR) = a \cdot \exp(-b \cdot CR)$ donde a y b son unos parámetros de ajuste; y donde

$R_c(T, H) = R_{\max}((k_{T,h}(t-t_0)/(1+(k_{T,h}(t-t_0))))$ tal que R_{\max} es la resistencia final, $k_{T,h}$ es la constante de la reacción dependiente de T y h, y t_0 el instante de comienzo de la hidratación.

5

La forma de calcular los parámetros anteriores se encuentra en detalle en el apartado de *descripción de una forma de realización de la invención*.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

15

La figura 3 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

La figura 4 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

20

La figura 5 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

La figura 6 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

La figura 7 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

25

La figura 8 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

La figura 9 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

30

La figura 10 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con la presente invención.

La figura 11 muestra un dispositivo de forma cónica para acoplar los sensores de temperatura y humedad.

La figura 12 muestra una gráfica de la velocidad ultrasónica en m/s frente al tiempo en horas.

35

La figura 13 muestra una gráfica del coeficiente de

reflexión CR frente al tiempo en horas.

La figura 14 muestra dos gráficas de la temperatura (°C) y la humedad (%) frente al tiempo en horas.

La figura 15 muestra una gráfica de la resistencia a la compresión (MPa) frente a la velocidad ultrasónica (m/s).

La figura 16 muestra una gráfica de la resistencia a la compresión (MPa) frente al tiempo fraguado (horas) para calcular el ajuste de la resistencia a la compresión.

La figura 17 muestra una gráfica de la velocidad ultrasónica (m/s) frente al tiempo fraguado (horas) para calcular el ajuste de la velocidad.

La figura 18 muestra una gráfica para el cálculo del CR a partir de la señal tomada con el dispositivo sensor de la figura 5, se obtiene un tipo de señal con ecos claros procedentes del rebote o reflexión con el MR; se realiza la transformada de Fourier de las señales de los ecos adecuadamente inventanados.

La figura 19 muestra una gráfica de la resistencia a la compresión (MPa) frente al coeficiente de reflexión.

La figura 20 muestra un diagrama de bloques donde la RIS está estructurada en una topología lineal.

La figura 21 muestra un diagrama de bloques donde la RIS está estructurada en una topología en árbol.

25

DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Con objeto de llegar a una mejor comprensión del objeto y funcionalidad de la presente invención, a continuación se detalla una forma de realización de la presente invención en referencia a las figuras, sin que ello suponga limitación alguna del alcance de la presente invención.

Aquí se presenta un sistema y metodología que permite medir el grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios. Para ello este sistema comprende sensores ultrasónicos (SUS) (1) y sensores de temperatura y humedad

relativa (STH) (3,4).

Mediante los sensores ultrasónicos se pueden medir los parámetros elásticos del material a medida que se produce el proceso de fraguado. Los parámetros analizados son la
 5 velocidad y el coeficiente de reflexión (en adelante CR) en una interfase con un material de referencia, en adelante (MR). A través de las medidas de velocidad ultrasónica y del CR el sistema es capaz de predecir la resistencia a la compresión del material durante los procesos de
 10 fabricación, manipulación y corte. Estos sensores ultrasónicos van dispuestos de un mecanismo que permite acoplar los transductores al material que se desea monitorizar (FIG.1, 2, 3, 4 para la medida de la velocidad y FIG. 5 para el CR).

15 Mediante los sensores de temperatura (ST) y humedad (SH), se pueden medir tanto los parámetros medioambientales, que son esenciales en este proceso, así como el gradiente existente entre el medio ambiente y el interior del material y que afectan al proceso de fraguado-
 20 curado de los materiales cementicios.

Para recoger los datos medidos por los diferentes sensores, el sistema consta de una red inalámbrica de motas o nodos compuesta por dos o más dispositivos (FIG. 6) que se comunican por radio (16) provistas de un microprocesador
 25 equipado con los diferentes sensores.

El sistema está especialmente indicado para su funcionamiento "in situ" por lo que puede ser usado para monitorizar los procesos de fraguado y endurecimiento del hormigón tanto en obra como en empresas de prefabricación.

30 En ambos casos uno de los objetivos del sistema es determinar el momento en el que el material ha alcanzado la resistencia suficiente, para ser manipulado en el caso de los prefabricados, o bien para proseguir la construcción en el caso de las obras. Otro objetivo también importante es
 35 asegurar la calidad y uniformidad del material a medida que se está fraguando. El cumplimiento del primer objetivo va a

redundar en la mejora de la rentabilidad del proceso y el segundo en un control de calidad de los materiales fabricados, con lo que se abrirá una línea de trabajo de desarrollo de normativa específica con la adopción de esta invención, de interés para el sector de aplicación.

Por tanto, el problema técnico a resolver es monitorizar el proceso de fraguado de materiales cementicios ya sea "en obra" o en las empresas de prefabricados. Existe suficiente conocimiento científico, aunque todavía incompleto, para determinar el estado del material en este proceso mediante técnicas no destructivas, pero la principal problemática a resolver viene determinada por las duras y cambiantes condiciones a las que están expuestas estos materiales y donde tiene lugar la monitorización. En la fabricación de los materiales cementicios interviene agua, cemento, polvo, piedras, hierro, soldaduras, cortes, movimiento de pequeña y gran maquinaria, etc., además normalmente se realiza a la intemperie y una mayoría de las veces interviene personal con poca cualificación. Difícilmente se encontrará un ambiente donde las condiciones de operación sean tan duras y cambiantes. Aunque existen múltiples formas de fabricar este tipo de materiales se pueden distinguir dos procesos de fabricación con requerimientos diferentes, en obra y en empresas de prefabricado. En el primero, se buscan monitorizar grandes estructuras, con formas y condiciones muy diferentes, pero que una vez situados los sistemas de monitorización permanecen fijos hasta que acaba el proceso de fraguado. En las empresas de prefabricado las estructuras a monitorizar son generalmente de menor tamaño que en obra y con formas más limitadas, pero a menudo no se encuentran en un sitio fijo sino que se mueven y manipulan para optimizar el proceso de fabricación. En el primer caso todavía es posible utilizar sistemas de monitorización cableados, pero es en la práctica inviable utilizarlos en el segundo. Por ejemplo, para fabricar un tubo o marco de

hormigón para grandes caudales, primero se vierte el material en fresco en una zona de la fábrica donde se encuentran las mezcladoras y los encofrados con su correspondiente sistemas de vibración. Una vez desmoldados

5 se trasladan a una zona próxima y resguardada de la intemperie, aunque en ambiente no controlado donde permanecen durante al menos 24 horas, tiempo en principio suficiente para que alcancen la resistencia necesaria para ser manipulados con garantía. Pasado ese tiempo los marcos

10 son transportados a otro lugar, normalmente a la intemperie donde permanecerán el tiempo suficiente hasta alcanzar la resistencia necesaria para su traslado e instalación en servicio. Sin embargo, en ocasiones, el hormigón no alcanza la resistencia esperada en cada una de las etapas, ya sea

15 por defecto de fabricación o por un cambio en las condiciones medioambientales, y al mover o manipular los marcos se parten o agrietan. En el mejor de los casos estas deficiencias se detectan rápidamente, con lo que únicamente se pierde una parte de la producción y en el peor cuando ya

20 se encuentra instalado y funcionando con lo que la pérdida puede llegar a ser considerable. Esta problemática se puede evitar con el sistema y procedimiento objeto de esta patente, pues la monitorización permite estudiar cuáles son las condiciones que hacen que esto ocurra y detectar este

25 problema antes de mover los elementos prefabricados en cuestión. En el caso de las obras, el problema es equivalente, pues el sistema detecta cuando la estructura ha alcanzado la resistencia necesaria, pero como ya hemos comentado las condiciones de utilización no son las mismas.

30 El sistema está compuesto por tres tipos de sensores (SUS, ST, SH), los sistemas de acoplamiento de los sensores al material (AS), el procedimiento de calibración para la determinación del estado del fraguado y endurecimiento (CEFE) y por una red de comunicación inalámbrica compuesta

35 por nodos que permiten adquirir y procesar señales electrónicas provenientes de sensores (RIS).

1. Sensores:

- 5 a) **Ultrasónicos:** Adecuados a la transmisión de ondas ultrasónicas en el material cementicio, en principio las frecuencias válidas para este tipo de materiales se encuentran en el rango 40-500 kHz en el caso de medidas en transmisión para la medida de velocidad y en el rango de 400-1000 kHz para el caso de pulso/eco para la determinación del CR. Para la medida de la
- 10 velocidad se utilizan transductores de ondas longitudinales y para el CR transductores de ondas transversales. No obstante, estos rangos dependerán del material analizado. El diámetro de los sensores puede ser también variable pero lo ideal es que estén
- 15 entre 25 y 50 mm.
- Para la medida del CR se utiliza un dispositivo formado por los transductores ultrasónicos y el MR. En el caso del hormigón, el dispositivo consiste en un cilindro de 8 cm de eje axial y 6 cm de diámetro con
- 20 un corte de 3 mm de profundidad y 1 mm de espesor a modo de hendidura en la base superior. La base superior consta de dos planos inclinados con ángulos de 2°, en los cuáles se colocan los SUS, actuando uno de emisor y otro de receptor para recoger las
- 25 reflexiones directas en la interfase entre el MR y el hormigón. En el caso de la medida del CR en pastas de cemento y morteros bastará con utilizar un SUS colocado en un cubo de MR de 3 cm de arista.
- b) **Temperatura:** El rango de temperaturas es el necesario
- 30 para el medio ambiente entre -20°C y 70°C. Los sensores deberán ser de tamaño reducido y que se puedan acoplar a los microcontroladores de los nodos de las redes.
- c) **Humedad:** Se necesitan sensores de medida de humedad
- 35 relativa de tamaño reducido y que se puedan acoplar a los microcontroladores de los nodos de las redes.

2. Acoplamiento:

a) Sensores ultrasónicos: Se utilizan dos tipos de acoplamiento:

- 5 - Acoplamiento seco directo (FIG.7): Los transductores ultrasónicos (1) tienen una capa adaptadora (7) compuesta de silicona sólida con pequeñas protuberancias semiesféricas (8) de modo que permite un buen acoplamiento en superficies rugosas como las de hormigón. Además se
10 requiere de un sistema mecánico que permite sujetar firmemente los transductores al hormigón con una presión constante. El sistema de sujeción varía según la forma de la estructura y la posición deseada del sensor ultrasónico. Para zonas con apoyo horizontal bastará con que el sistema
15 de acoplamiento tenga un peso determinado para generar la presión deseada (5). En zonas donde no sea posible tener un apoyo horizontal (FIG.1) la presión sobre los transductores (1) la ejercerá un muelle precargado (2) de tal manera que se ejerza la presión suficiente para obtener un correcto
20 acoplamiento independientemente de la posible retracción del material. La presión ejercida deberá estar calibrada para que no deforme el material en el momento que se aplique. También es posible acoplar el sensor en las piezas de encofrado en vez de directamente en el material. En este
25 caso solo será válido en las primeras horas del proceso ya que la retracción del material lo separará del encofrado del hormigón impidiendo que la señal ultrasónica llegue al material. Para elementos estructurales que se construyen en pista en continuo, como por ejemplo viguetas o placas
30 alveolares, se puede usar un mecanismo fijado a la pista por cada lado y con los transductores a ambos lados de la pieza (FIG.2, FIG.8). También se puede usar un sistema donde uno de los transductores usa la pista para transmitir/recibir la señal mientras el otro se encuentra
35 en contacto con el material (FIG.3). En este caso, los transductores son acoplados al material y a la pista usando

un peso determinado para generar la presión deseada (5). La energía emitida por el transductor (9) se transmitirá a la pista y esta energía será a su vez transmitida a través del material a caracterizar hasta el transductor receptor (10) (FIG.9). Para probetas de hormigón se puede usar un sistema en forma de U con un tornillo en un lateral (6) con el que se ajustan los transductores al material (FIG.4).

Para el caso de CR se utilizará un acoplamiento directo que consiste en introducir ligeramente el dispositivo en el material cementicio inmediatamente después de su fabricación, habrá que garantizar que transcurra el menor tiempo posible entre la fabricación y la colocación del dispositivo.

- Acoplamiento húmedo (FIG.10): Este tipo de acoplamiento se utilizará cuando se quiera utilizar la armadura de acero (11) de la estructura como sistema emisor. Para ello se utilizará un depósito de forma troncocónica (12) con un líquido viscoso, que no ataque a la armadura, y, produzca una inmersión local de la armadura y además actúe como guía de ondas de manera que la mayor parte de la energía emitida por el transductor (9) se transmita a la armadura. Esta energía se transmitirá a través del material a caracterizar hasta el transductor receptor (10). Los nodos de la RIS, emisor (13) y receptor (14), deberán estar convenientemente sincronizados para que la señal emitida sea adecuadamente recibida y se pueda medir su tiempo de vuelo con precisión suficiente.

b) Sensores de Temperatura y Humedad.

Para acoplar los sensores de temperatura y humedad se utilizará un dispositivo de forma cónica (FIG.11) que permita crear una pequeña cámara en el interior del material de manera que tenga prácticamente la misma humedad y temperatura del material pero que no tenga contacto directo con el sensor. De esta manera se pueden recuperar los sensores y evitamos que el agua presente en el material

sature e inutilice el sensor de humedad. Esta pequeña cámara puede permanecer en la estructura ya que su pequeño tamaño no compromete su integridad (3). El material del que está compuesta la cámara puede ser plástico o metálico y
5 tendrá una o más cavidades selladas (15) con un tejido hidrófugo de manera que permita pasar la humedad pero no el agua. La profundidad a la que se introduce la cámara es variable dependiendo del grosor de la estructura pero en principio bastará con escasos centímetros (2 o 3) para
10 obtener una buena referencia del proceso de fraguado. Para medir la temperatura y humedad ambiente se utilizará una cámara análoga (4) a la introducida en el material para que las medidas sean comparables.

15 **3. Procedimiento de calibración para la determinación del estado del fraguado y endurecimiento (CEFE).**

El procedimiento de calibración de los sistemas objeto de esta patente se basará en una experimentación inicial donde se fabricarán varias probetas cúbicas para
20 monitorizar y adquirir las curvas de variación de la velocidad ultrasónica (FIG.12), del CR (FIG.13) y de la temperatura y humedad del material y ambiental durante el proceso de fraguado (FIG.14). A la vez que se monitoriza se realizarán ensayos de resistencia obteniendo por tanto una
25 correlación entre las curvas de fraguado y las resistencias del hormigón (FIG.15).

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (V)

No existe una fórmula general y única entre la
30 velocidad de propagación y la resistencia a compresión de los materiales cementicios. Las diferentes expresiones empíricas que hay disponible en la literatura son válidas solo para el material a partir del cual se extrajeron. Otra forma de extraer esta relación es a partir de las
35 reacciones de hidratación del cemento, una de las

formulaciones más utilizadas es la desarrollada por Knudsen la cual describe el desarrollo de la hidratación con el tiempo mediante una relación exponencial.

El procedimiento de calibración considerado en este sistema relacionará la velocidad y la resistencia para un material determinado usando diferentes versiones de la ecuación de Knudsen para el ajuste inicial de la resistencia y de la velocidad. Primero se mide la velocidad ultrasónica y la resistencia durante el tiempo de puesta en servicio (T_s), tiempo necesario para que el material tenga la resistencia suficiente para que pueda ponerse en obra. Una vez obtenidos estos datos, se ajusta la resistencia con la siguiente fórmula:

$$R_c(t) = \exp\left(\frac{b \cdot t^2}{a + t^2 + t} + c\right) \quad (1)$$

con los datos recogidos hasta el tiempo T_s (FIG.16) y donde a , b y c son parámetros de ajuste. Después se ajusta la velocidad con la siguiente fórmula:

$$V(t) = \frac{b \cdot t^2}{a + t^2 + t} + c \quad (2)$$

con los datos recogidos hasta el tiempo de manipulación (T_m), tiempo necesario para que el material haya alcanzado una resistencia suficiente para que se pueda desencofrar, destensar las armaduras, cortar, trasladar, etc. (FIG.17). Finalmente se despeja el tiempo en función de la velocidad y se calcula la resistencia en función de la velocidad (FIG.15). Así obtenemos la relación entre resistencia y velocidad.

$$R_c(V) = a \cdot e^{b \cdot V} \quad (3)$$

COEFICIENTE DE REFLEXION (CR)

El parámetro CR precisa de una calibración previa del dispositivo sensor al aire, considerando el aire como reflector ultrasónico perfecto y estable se obtiene el valor de CR_0 o de referencia, que habrá que corregir en la

medida de monitorización real sobre el material. Este valor será muy próximo a 1. Para el cálculo del CR a partir de la señal tomada con el dispositivo sensor de FIG.5, se obtiene un tipo de señal con ecos claros procedentes del rebote o reflexión con el MR; se realiza la transformada de Fourier de las señales de los ecos adecuadamente enventanados, FIG.18, según la ecuación:

$$CR(t) = \frac{|FFT(Eco2(t))|}{|FFT(Eco1(t))|} \quad (4)$$

La ecuación que describe la variación del CR en función del tiempo t muestra un ajuste exponencial decreciente descrito a partir de la siguiente ecuación:

$$CR(t) = a \cdot e^{-b \cdot t} + c \cdot e^{-d \cdot t} \quad (5)$$

Donde a, b, c y d son parámetros de ajuste (FIG.13).

El cálculo se realizará para la primera y segunda reflexión y entre la segunda y tercera reflexión, tomando, finalmente, la curva que mejor coeficiente de regresión muestra. A partir de dicha curva de ajuste se obtiene una relación final entre la resistencia y el CR de tipo exponencial decreciente

$$R_c(CR) = a \cdot e^{-b \cdot CR} \quad (6)$$

donde a y b son parámetros de ajuste (FIG.19).

TEMPERATURA Y HUMEDAD (T/H)

La monitorización de la temperatura y la humedad permiten determinar cuando ha finalizado el proceso de fraguado y empieza el de endurecimiento y predecir la resistencia, mediante el método de maduración, Carino y Liao. La ganancia de resistencia es un efecto combinado del tiempo, la temperatura y la humedad. Además, las curvas de humedad permiten determinar si el fraguado se está realizando con una cantidad de agua suficiente para que adquiera las propiedades de resistencia en el tiempo necesario.

Para obtener las curvas R(t) es necesario:

- Tres temperaturas diferentes, utilizando una de ellas como temperatura de referencia, la cual será de 20°C. (Tr=20°C).
- Para cada temperatura se deberá obtener dicha curva R(t) para 3 condiciones de humedad distintas, tomando como humedad de referencia el 100% de humedad relativa. (hr=100).

El comportamiento de la resistencia en función del tiempo viene dado por la siguiente ecuación:

$$R = R_{\max} \frac{k_{T,h}(t-t_0)}{1+k_{T,h}(t-t_0)} \quad (7)$$

Donde, R_{\max} es la resistencia final, $k_{T,H}$ es la constante de la reacción dependiente de T y h y t_0 es el instante en el que comienza la hidratación.

- Además debe realizarse el siguiente ajuste, para obtener los valores de h_0 y J_u :

$$\frac{k_{Tc,h}}{k_{Tc,h_r}} = J_u \frac{k_h(100-h-h_0)}{1+k_h(100-h-h_0)} \quad (8)$$

Donde, J_u es el factor de humedad final, k_H es la constante de la reacción dependiente de h y h_0 es la humedad inicial.

20 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL PROCESO FRAGUADO Y PREDICIÓN DE PROPIEDADES FINALES.

Una vez realizado los ensayos de calibración se obtienen 3 funciones que permiten determinar la resistencia mecánica del material a partir de la monitorización en las primeras horas del proceso. Dos de ellas (V y CR) son función de los parámetros elásticos del material y la otra (T/H) en función de parámetros energéticos y medioambientales del proceso. La determinación final de la resistencia a partir de las resistencias obtenidas con estos parámetros se determinará por las siguientes funciones, dependiendo de la necesidad de cada aplicación:

$$R_c(V, CR, T, H) = \min(R_c(V), R_c(CR), R_c(T, H)) \quad (9)$$

La función (9) permitirá garantizar la resistencia mínima que tendrá el material.

Mientras que la función (10) pondera linealmente los resultados de los parámetros medidos dependiendo de la
5 calidad de los mismos

$$R_c(V, CR, T, H) = x_V \cdot R_c(V) + x_{CR} \cdot R_c(CR) + x_{TH} \cdot R_c(T, H) \quad (10)$$

siendo x_V , x_{CR} y x_{TH} los coeficientes de ponderación que por una parte deben cumplir que

$1 = x_V + x_{CR} + x_{TH}$; y por otra deben ser inversamente
10 proporcionales al error cuadrático medio de las diferentes funciones en el intervalo de tiempo considerado.

Para la predicción de propiedades finales se utilizarán las funciones anteriores pero los coeficientes de ponderación podrán cambiar si el error de las diferentes
15 funciones cambia a tiempos más largos.

4. Procedimiento de Medida mediante la Red Inalámbrica de Sensores (RIS):

La RIS, debe permitir incorporar tanto el "hardware"
20 como el software para tres tipos de sensores (FIG.6): sensores ultrasónicos (SUS) (17) adecuados para la inspección de hormigón, sensores de temperatura (ST) y sensores de humedad (SH) (18). La RIS debe permitir al menos estructurarla en una topología lineal (FIG.20), y
25 preferiblemente en árbol (FIG.21). En todas las redes existe un nodo principal (19), que recoge todos los datos de los nodos secundarios (20) y lo envía a un sistema informático (21) para su almacenamiento y procesamiento. Dado que el proceso de fraguado es un proceso relativamente
30 lento, la adquisición de las señales sensoriales debe permitir una frecuencia de toma de datos de al menos 1 toma por cada 2 minutos.

Cada nodo de la red inalámbrica está formado por un microcontrolador que debe tener disponibles los recursos
35 necesarios para poder implementar el procesamiento de señal

necesario para los diferentes sensores incorporados. Actualmente casi todas las redes comerciales de sensores tienen la posibilidad de incorporar sensores de humedad y temperatura. Sin embargo la posibilidad de incorporar
5 sensores ultrasónicos aptos para la inspección de hormigón requiere de una serie de características especiales:

- a) Proporcionar la suficiente energía para soportar dos módulos de emisión-recepción ultrasónica de baja tensión.
- 10 b) Que se pueda sincronizar la emisión-recepción ultrasónica, incluso de manera inalámbrica entre diferentes nodos de la red.
- c) Que cada nodo tenga un sistema de contadores temporales para determinar el tiempo de vuelo de la
15 señal ultrasónica con precisión mejor que las décimas de milisegundo.

El procedimiento de Medida con la RIS se describe a continuación:

- 20 1. Captura de datos de temperatura y humedad.
- 2. Captura de señal ultrasónica para la medida de velocidad de propagación.
- 3. Captura de señal ultrasónica para la medida de CR.
- 4. Envío de los registros de las señales sensoriales al
25 nodo principal.
- 5. Procesamiento de señales para obtención de los parámetros velocidad y CR.
- 6. Envío de los datos obtenidos al sistema informático.
- 7. Aplicación de la metodología de análisis descrita en
30 el apartado anterior para la medida de propiedades mecánicas.
- 8. Aplicación de la metodología de análisis para la predicción de resistencias mecánicas finales.

35 El sistema está compuesto por una red de comunicación inalámbrica compuesta por 5 nodos sensorizados y un nodo

conectado a un ordenador portátil (nodo base). Éste último se encarga de recoger todos los datos de la red. El sistema se usa para monitorizar los procesos de fraguado y endurecimiento de varios elementos de hormigón, siendo
5 necesario un nodo por cada punto de medida a monitorizar.

1. Sensores:

a. Ultrasónicos:

i. Para la medida de Velocidad de Propagación: cada 2 minutos se calcula la mediana de la
10 velocidad de transmisión a través del material de 5 pulsos consecutivos de 40 kHz con una ganancia de recepción de 70 dB. Para ello cada nodo usa 2 transductores de la marca Proceq, uno de emisión y otro de
15 recepción, de frecuencia central de 54 kHz. El diámetro de los sensores es de 50 mm.

ii. Para la medida del CR: cada 2 minutos se realiza un promediado de 3 señales adquiridas que elimina posible ruido, con
20 una frecuencia central de inspección de 500 kHz. La tensión de ataque será pequeña, de unos 5V para transductores de banda estrecha/ancha indistintamente, como los utilizados de la marca Panametrics V151 con
25 un diámetro de 2,54 cm y con una ganancia de 40 dB.

b. Temperatura: Cada 2 minutos se mide la temperatura en el interior del material usando 2 sensores SHT75 (Sensirion) y la temperatura ambiente.

30 c. Humedad: Cada 2 minutos se mide la humedad en el interior del material usando 2 sensores SHT75 (Sensirion) y la humedad ambiente.

2. Acoplamiento:

35

a) Sensores ultrasónicos.

Se usa un acoplamiento seco directo: Los transductores ultrasónicos tienen una capa adaptadora compuesta de silicona sólida con pequeñas protuberancias semiesféricas de 50 mm de diámetro. Con unas mordazas de dimensiones 530 x 530 mm compuestas de un muelle precargado se sujetan firmemente los transductores a la estructura marco de hormigón, con una presión constante (FIG.1).

Se usa acoplamiento directo al material para el caso de la medida CR (FIG.5).

b) Sensores de Temperatura y Humedad.

Para acoplar los sensores de temperatura en el interior del material se utiliza un dispositivo de forma cónica de plástico de medidas 50 x 10 mm (FIG.11) de manera que tenga prácticamente la misma humedad y temperatura del material pero que no tenga contacto directo. Este dispositivo se introduce unos 30 mm en el hormigón recién fabricado. Cada sensor se conecta con un cable hasta el nodo inalámbrico. Para medir la temperatura y humedad ambiente se utiliza una cámara análoga a la introducida en el material para que las medidas sean comparables.

3. Procedimiento de calibración para la determinación del estado del fraguado y endurecimiento (CEFE).

El nodo base se encarga de recoger todas las medidas de velocidad ultrasónica, CR, temperatura y humedad tomadas por los diferentes nodos que componen la red. Este nodo se conecta al ordenador, por el puerto serie, donde se almacenan en un fichero. Después se analizan y se construyen las curvas de variación de la velocidad ultrasónica y del diferencial entre la temperatura y humedad del material y la temperatura y humedad ambiental a medida que se produce el proceso de fraguado.

Para relacionar la resistencia con la velocidad y el

CR se ha procedido de la siguiente manera. Primero se han fabricado probetas de hormigón de 15 x 15 x 15 cm, las cuales se han monitorizado durante 120 horas (=Ts) con sensores ultrasónicos, de temperatura y humedad y además se
5 ha medido la resistencia a compresión a 4, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 50.5 y 119 horas.

Se ha ajustado la resistencia y la velocidad usando las ecuaciones (1) y (2) respectivamente y considerando los datos de las 120 horas en el caso de la resistencia y de
10 las primeras 24 horas (=Tm) en el caso de la velocidad. A partir de estos datos se ha obtenido la relación entre la velocidad y la resistencia usando la ecuación (3) y el error cometido.

A partir de las señales tomadas con el dispositivo
15 sensor, FIG.5, se calculo el CR según ecuación (4). Se ha ajustado el CR usando la ecuación (5) y considerando los datos hasta 48 horas ya que, posteriormente, el parámetro CR varía más lentamente. A partir de estos datos se ha obtenido la relación entre el CR y la resistencia usando la
20 ecuación (6).

Para la calibración de la temperatura y la humedad se han utilizado 3 temperaturas, 12°C, 20°C y 40°C, y 3 humedades relativas, 100%, 60% y 40%, y unos tiempos de rotura para la resistencia a compresión de 24h, 48h, 7 días
25 y 28 días. Se ha ajustado la resistencia usando las ecuaciones 7 y 8.

4. Procedimiento de medida mediante la Red Inalámbrica de Sensores (RIS):

30 Cada nodo de la red inalámbrica tiene unas dimensiones de 100 x 20 x 40 mm y está compuesto por un microcontrolador Atmega128, un chip de radio CC1000 a 433 MHz de frecuencia, un sensor ultrasónico de emisión y otro de recepción, un puerto serie y 1 conector de 51 pines. Una
35 tarjeta de adquisición de datos es usada con cada nodo para

conectar los sensores de temperatura y humedad. Para
obtener un mayor rango de cobertura, cada nodo dispone de
una antena de dimensiones 143 x 10 mm. Estos dispositivos
funcionan con 2 baterías AA. Para proteger los nodos que
5 componen la red se encapsulan en cajas de dimensiones 120 x
40 x 60 mm

La adquisición de las señales sensoriales se realiza
cada 2 minutos. Cada nodo actuará como emisor y receptor
del pulso ultrasónico a través del material.

10 Se coloca un nodo en cada marco de hormigón
monitorizado y el nodo base tiene que estar dentro del
rango de cobertura de al menos 1 de los nodos. Usando una
topología de árbol, FIG.21, la información de cada nodo es
recibida por la base.

15

DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL PROCESO FRAGUADO Y PREDICIÓN DE PROPIEDADES FINALES

Para la determinación del estado de proceso de
20 fraguado se utilizarán las funciones 9 o 10. En el caso de
la monitorización de los marcos de hormigón se utilizo la
función 9 para determinar la resistencia mínima para mover
el marco de la zona de fabricación a la zona de almacenaje.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema inalámbrico de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la
5 predicción de resistencias mecánicas que comprende:

- al menos un sensor ultrasónico "SUS" para monitorizar unos parámetros elásticos de un material cementicio;
- al menos un sensor de temperatura "ST";
- 10 • al menos un sensor de humedad relativa "SH" que conjuntamente con el sensor de temperatura monitorizan unos parámetros energéticos/medioambientales;
- una red de comunicación inalámbrica "RIS"
15 compuesta por al menos dos nodos para la adquisición y procesamiento de señales electrónicas provenientes de sensores;
- un sistema informático (21) conectado al sensor de temperatura, al sensor de humedad relativa y al
20 sensor ultrasónico vía la red de comunicación inalámbrica;

tal que el sistema informático (21) calcula una resistencia mecánica del material cementicio a partir de los parámetros elásticos y los parámetros energéticos/medioambientales
25 monitorizados.

2.- Sistema inalámbrico según la reivindicación 1, caracterizado porque adicionalmente comprende un sistema de acoplamiento "AS" del sensor ultrasónico, del sensor de
30 temperatura y del sensor de humedad relativa al material cementicio.

3.- Sistema inalámbrico según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque adicionalmente comprende una unidad de
35 calibración que lleva a cabo un procedimiento de

calibración para la determinación del estado del fraguado y endurecimiento "CEFE".

4.- Sistema inalámbrico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los parámetros elásticos están comprendidos por una velocidad de propagación "V" y un coeficiente de reflexión "CR" y porque los parámetros energéticos/medioambientales están comprendidos por una temperatura "T" y una humedad "H".

10

5.- Sistema inalámbrico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema informático (21) comprende un nodo principal (19) y al menos un nodo secundario (20) tal que el nodo principal (19) recoge todos los datos del nodo secundario y los envía al sistema informático (21) para su almacenamiento y procesamiento.

6.- Sistema inalámbrico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema informático (21) comprende un microcontrolador por cada nodo comprendido en la red inalámbrica, donde el microcontrolador comprende medios de implementación del sensor ultrasónico, del sensor de temperatura y del sensor de humedad relativa.

7.- Sistema inalámbrico según la reivindicación 6, caracterizado porque los medios de implementación para el sensor ultrasónico adicionalmente comprenden:

- un módulo de potencia para proporcionar la suficiente energía como para soportar dos módulos de emisión-recepción ultrasónica de baja tensión;
- un módulo de sincronización ultrasónica que sincroniza la emisión-recepción ultrasónica, incluso de manera inalámbrica entre diferentes

5 nodos de la red;

- un sistema de contadores temporales por cada nodo para determinar el tiempo de vuelo de la señal ultrasónica con precisión mejor que las décimas de milisegundo.

8.- Procedimiento de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas para el sistema definido en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

- capturar unos datos de temperatura T y humedad H mediante el sensor de temperatura "ST" y generar un registro T/H;
- 15 • capturar una señal ultrasónica para la medida de velocidad de propagación V mediante el sensor ultrasónico "SUS" y generar un registro V;
- capturar una señal ultrasónica para la medida del coeficiente de reflexión CR mediante el sensor ultrasónico SUS y generar un registro CR;
- 20 • enviar todos los registros anteriores de las señales sensoriales al nodo principal;
- procesar las señales para obtener los parámetros velocidad V y coeficiente de reflexión CR.
- 25 • enviar los datos obtenidos al sistema informático;
- calcular la resistencia mecánica mínima $R_C(V, CR, T, H)$ del material cementicio mediante la expresión:

$$R_C(V, CR, T, H) = \min(R_C(V), R_C(CR), R_C(T, H))$$

30 donde $R_C(V) = a \cdot \exp(b \cdot V)$, donde a y b son unos parámetros de ajuste; $R_C(CR) = a \cdot \exp(-b \cdot CR)$ donde a y b son unos parámetros de ajuste; y donde $R_C(T, H) = R_{\max}((k_{T,h}(t-t_0)/(1+(k_{T,h}(t-t_0))))$ tal que R_{\max} es la resistencia final, $k_{T,h}$ es la constante

de la reacción dependiente de T y h , y t_0 el instante de comienzo de la hidratación.

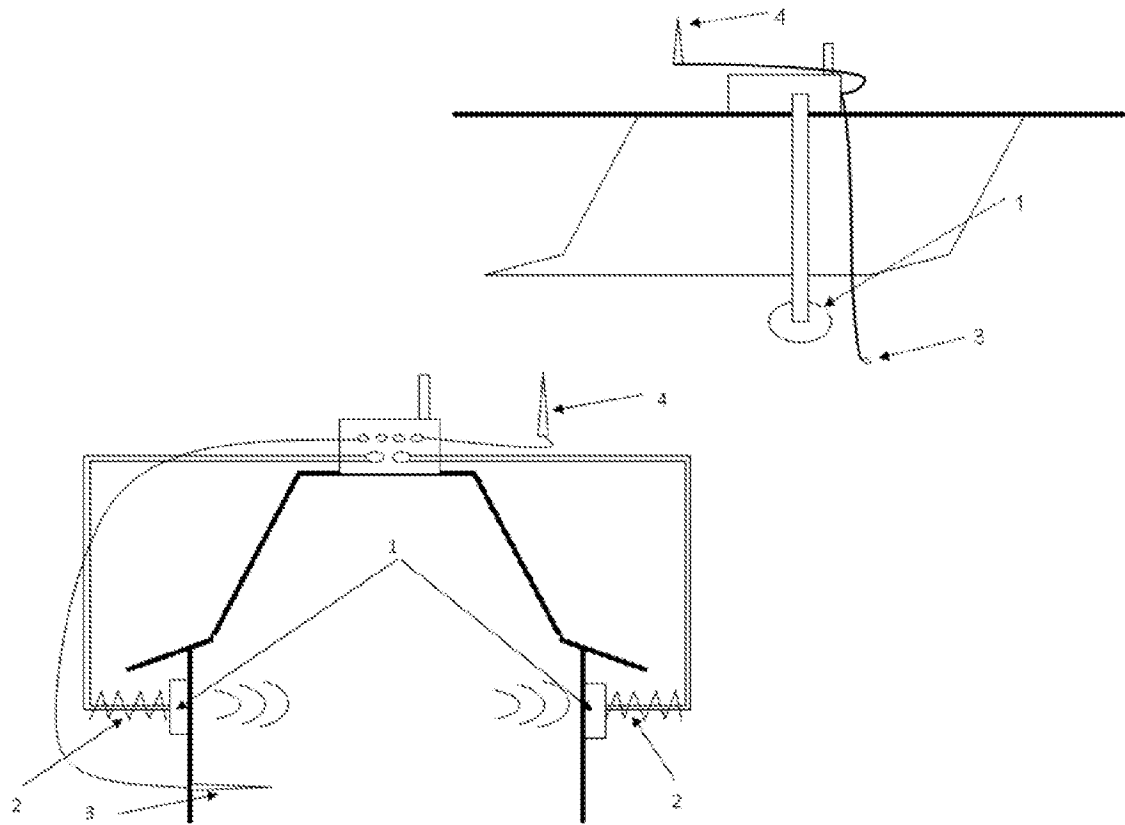


FIG. 1

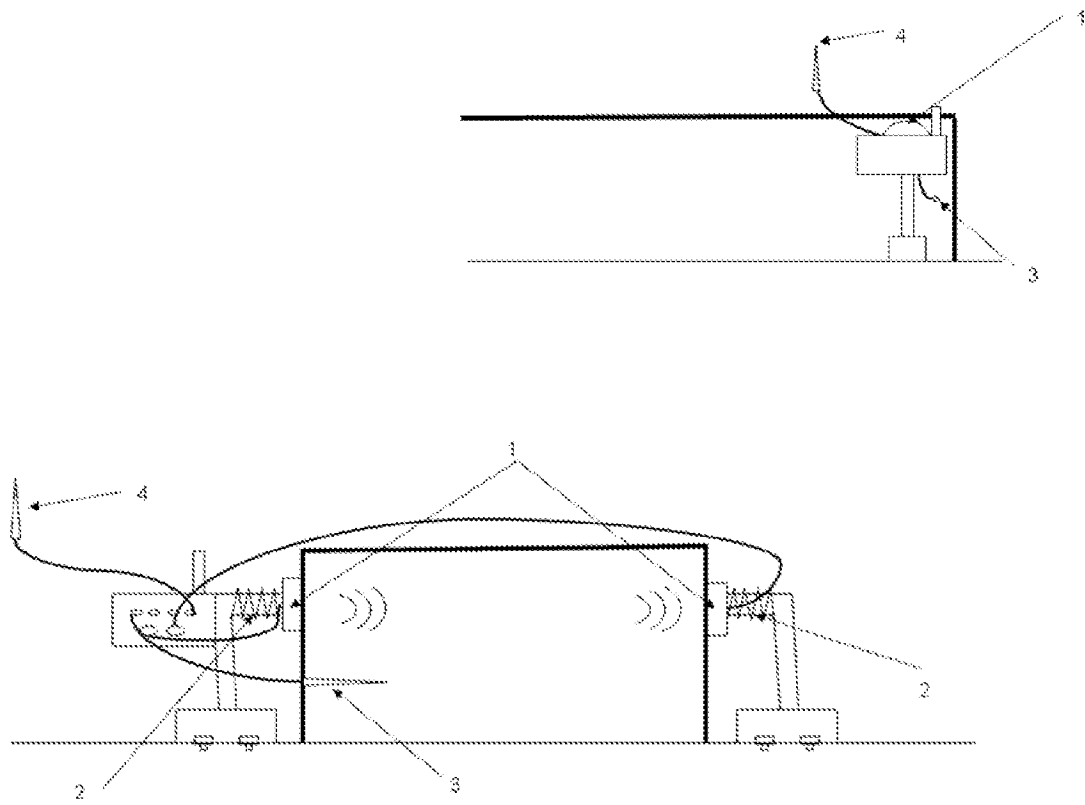


FIG. 2

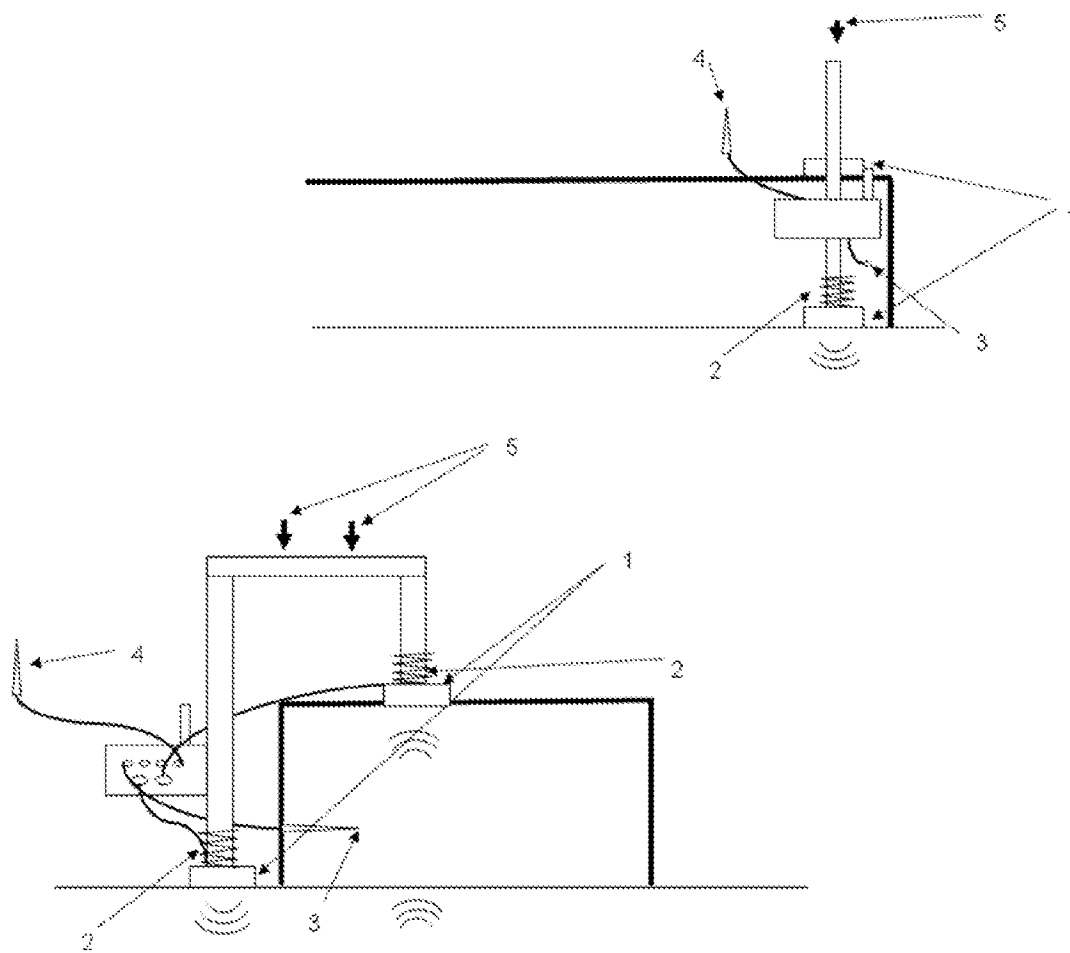


FIG. 3

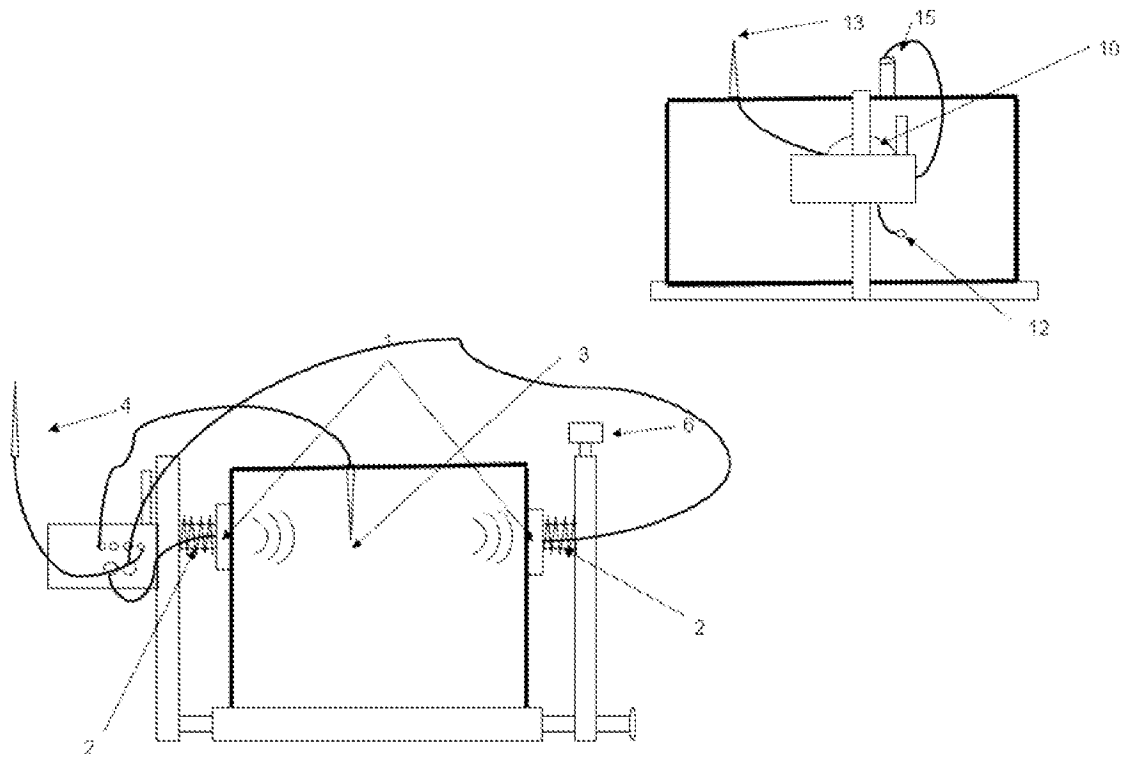


FIG. 4

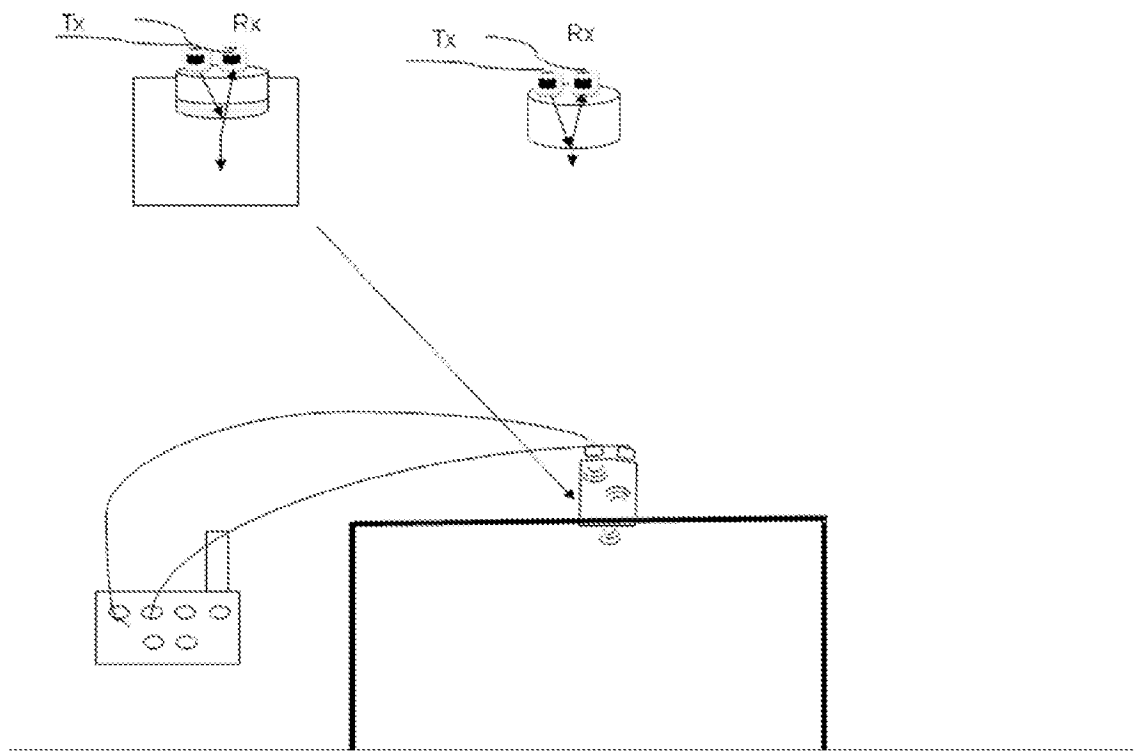


FIG. 5

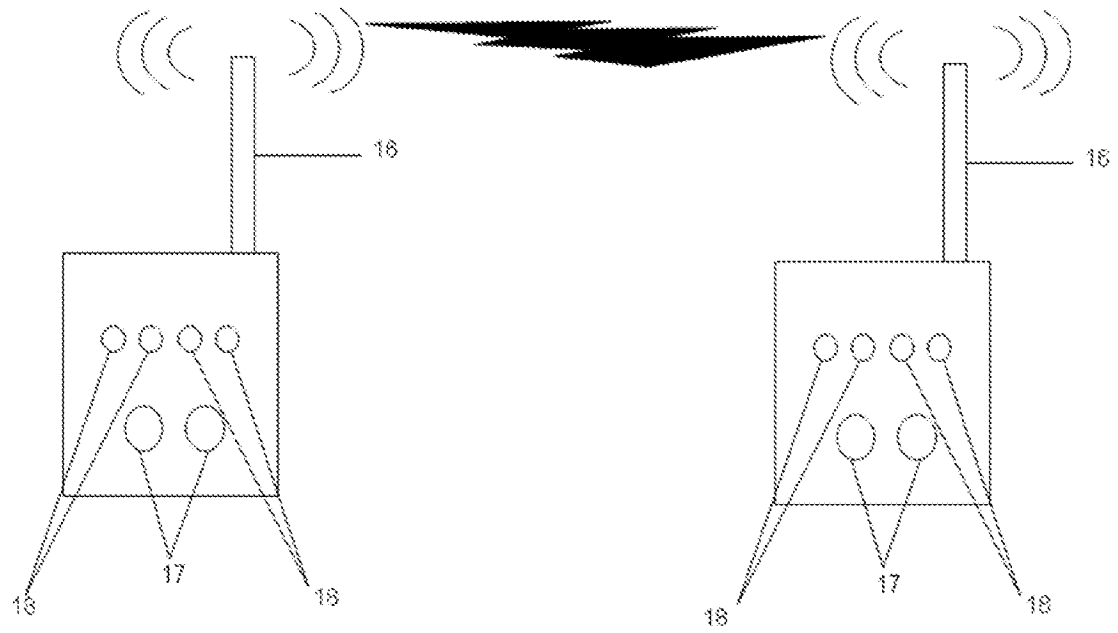


FIG. 6

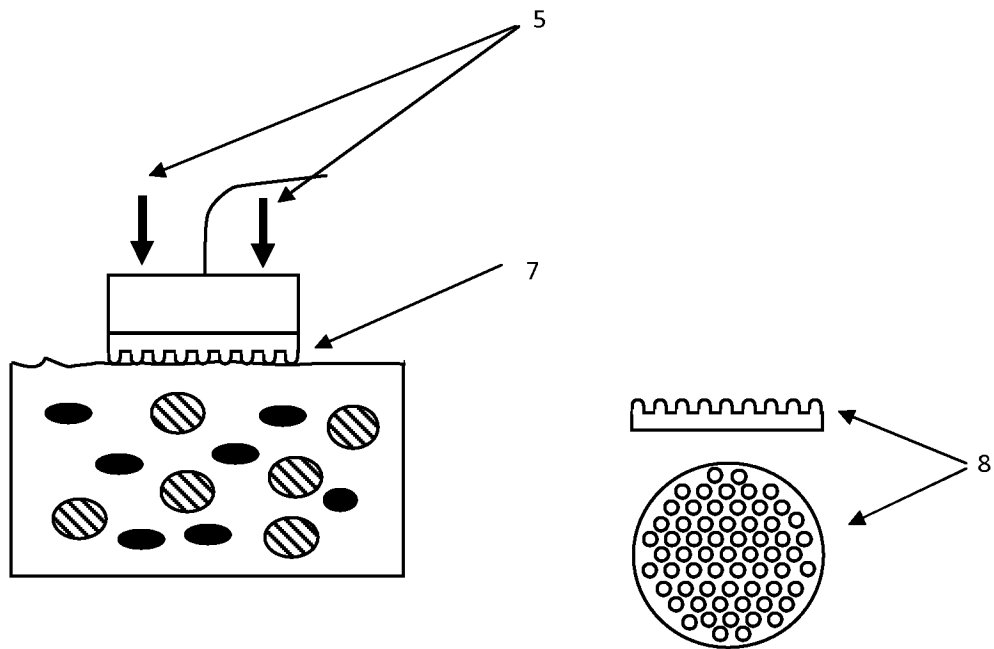


FIG. 7

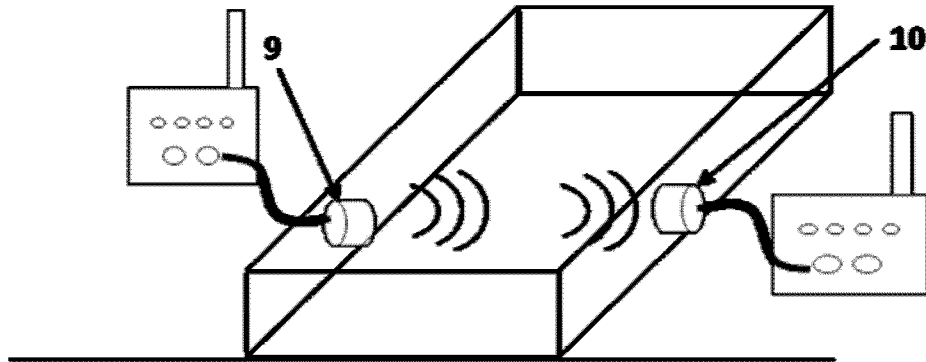


FIG. 8

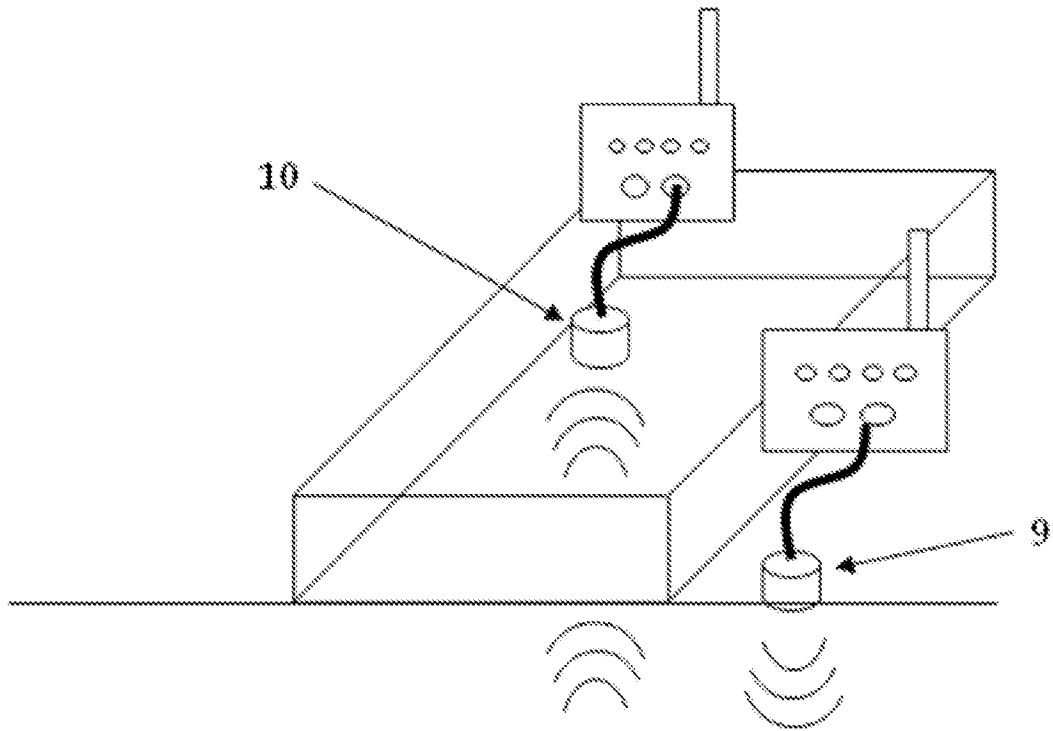


FIG. 9

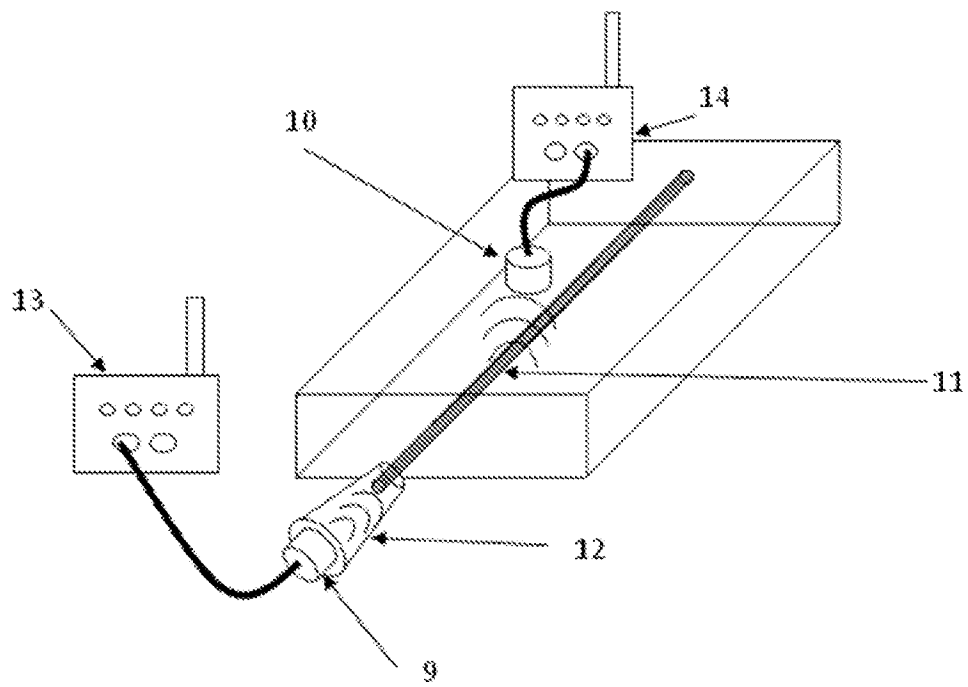


FIG. 10

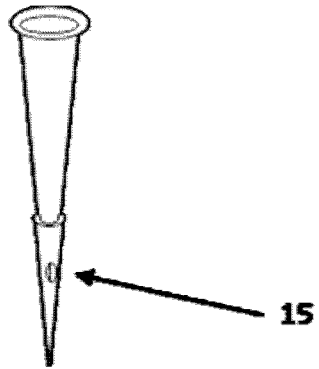


FIG. 11

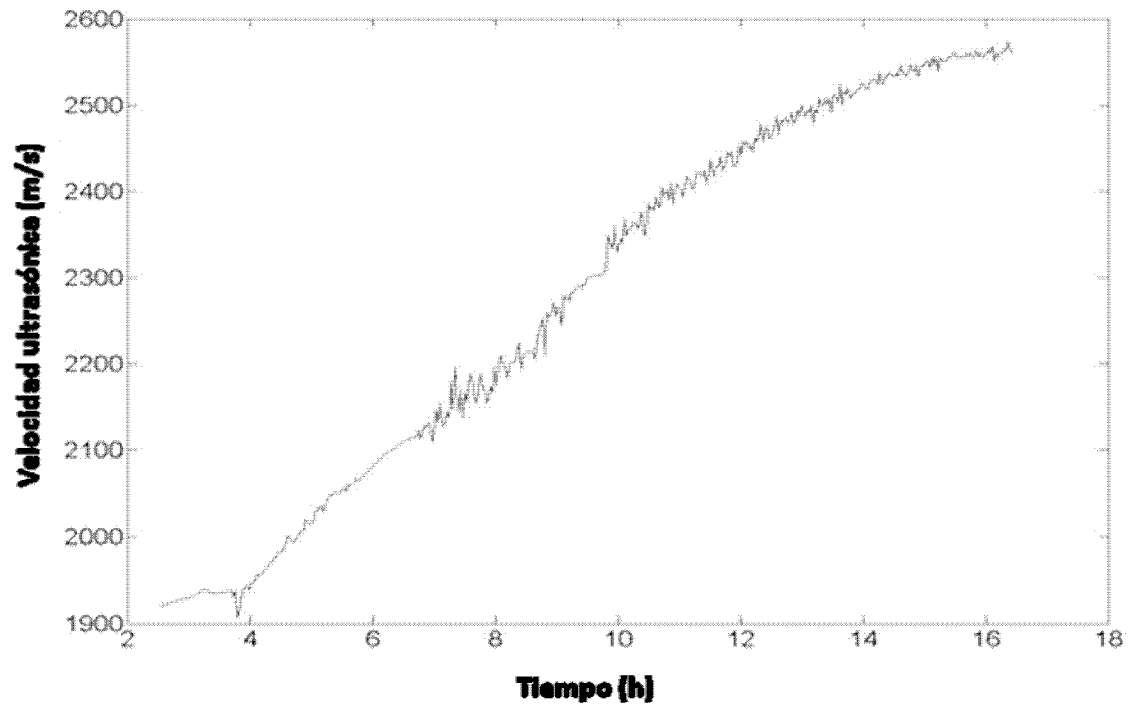


FIG. 12

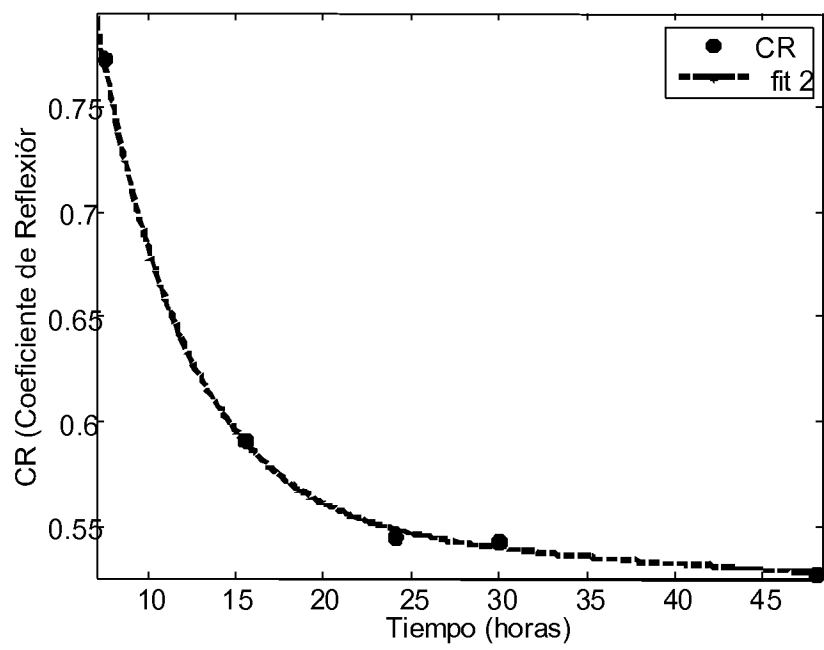


FIG. 13

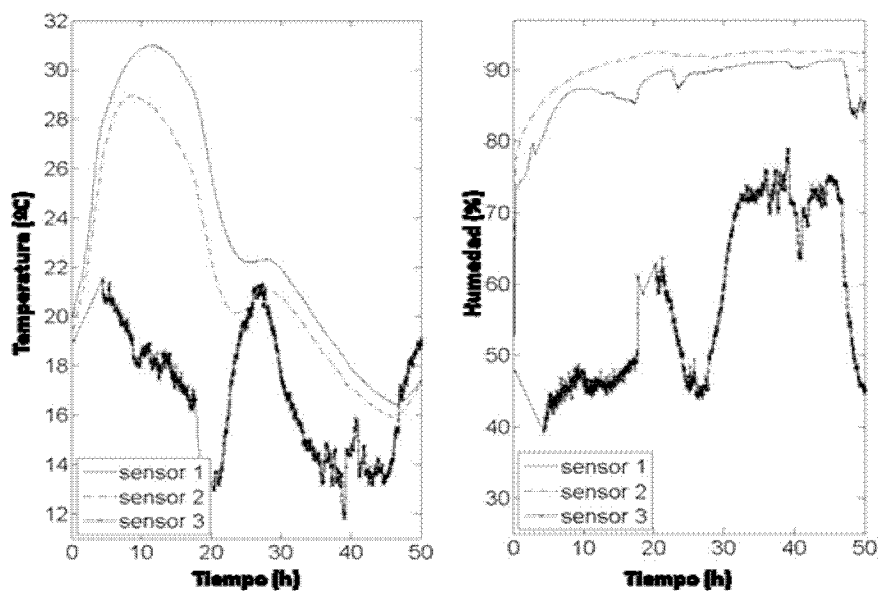


FIG. 14

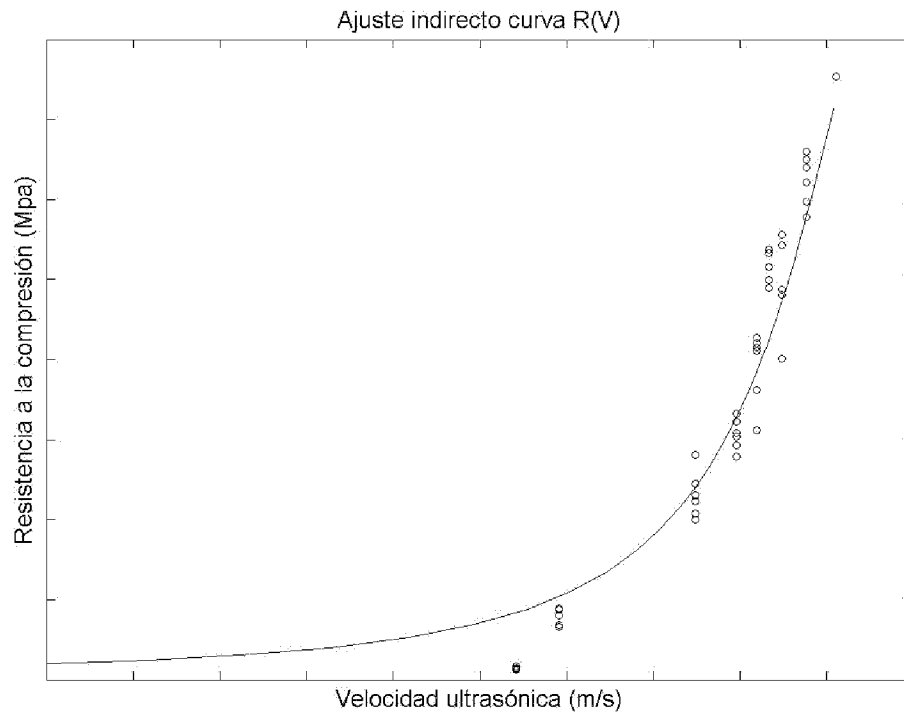


FIG. 15

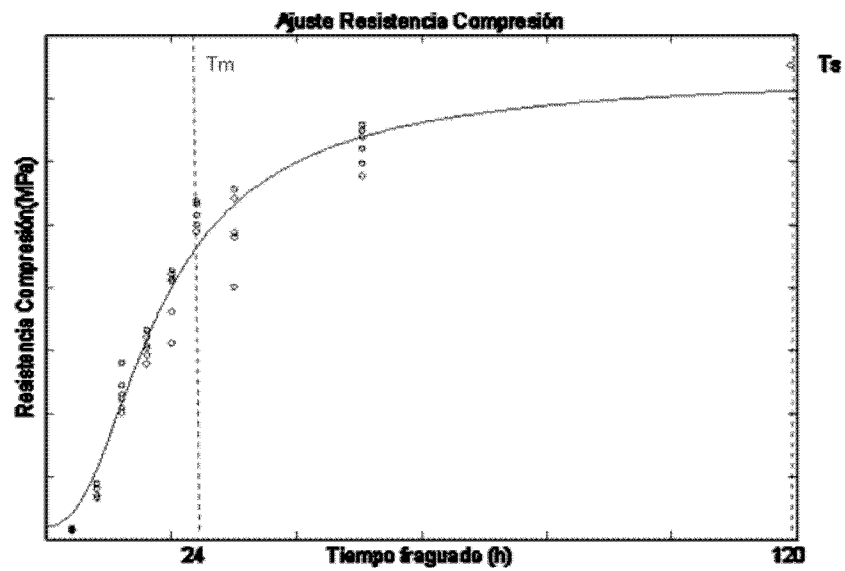


FIG. 16

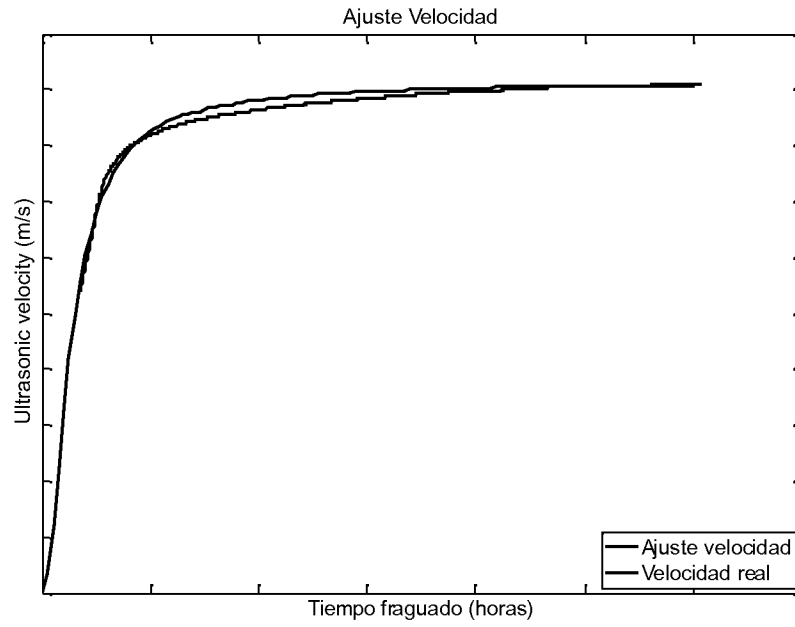


FIG. 17

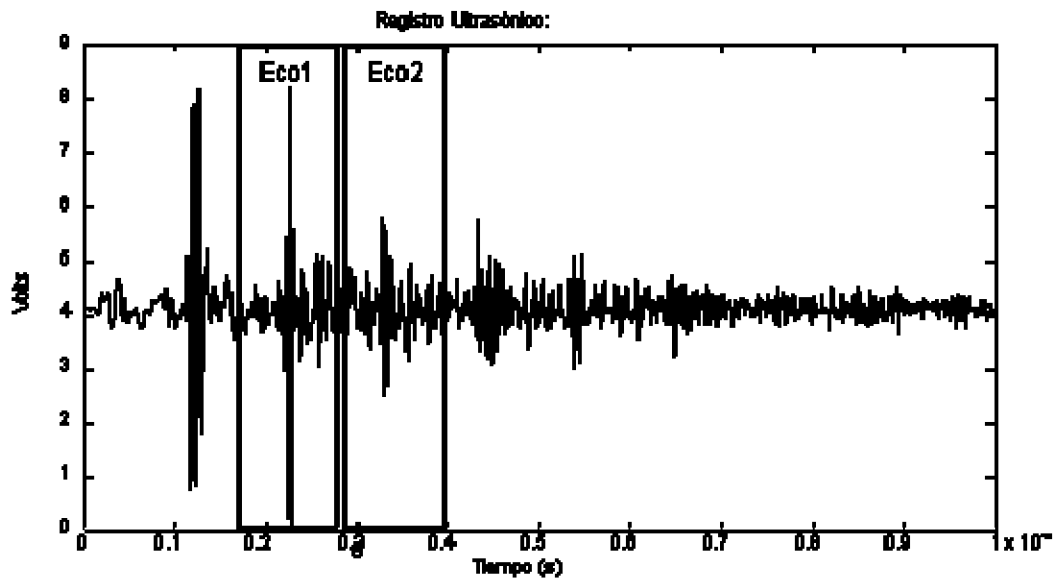


FIG. 18

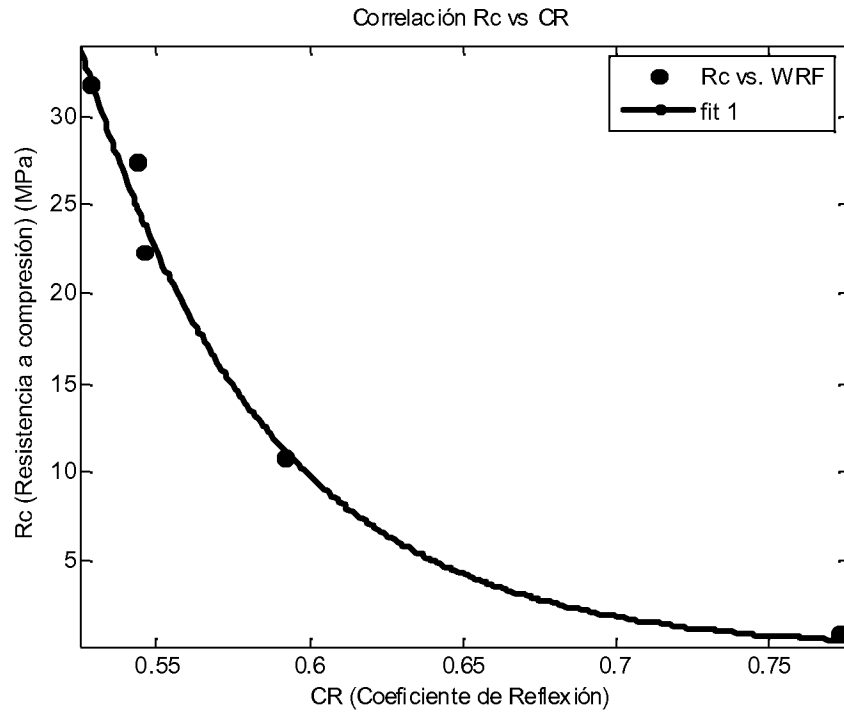


FIG. 19

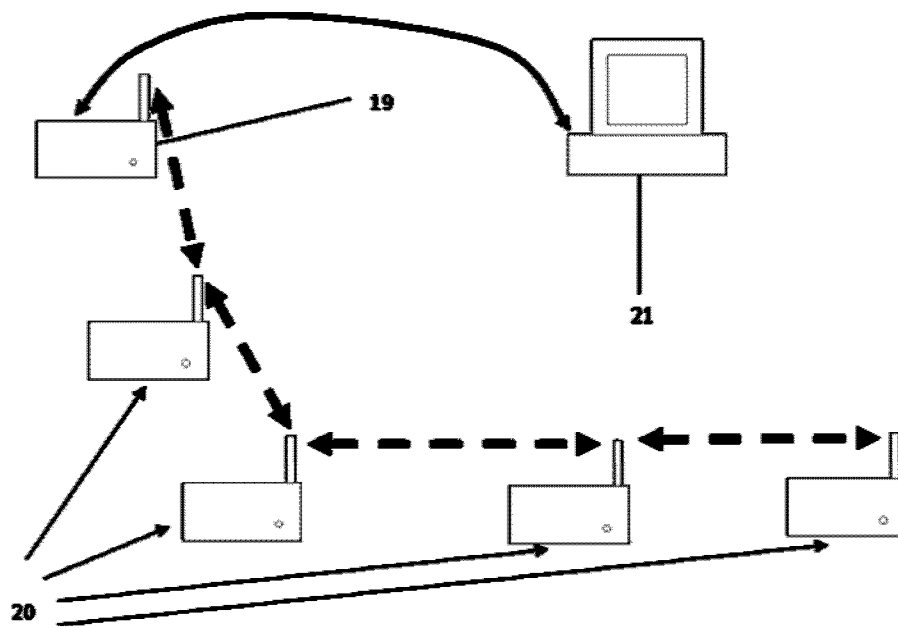


FIG. 20

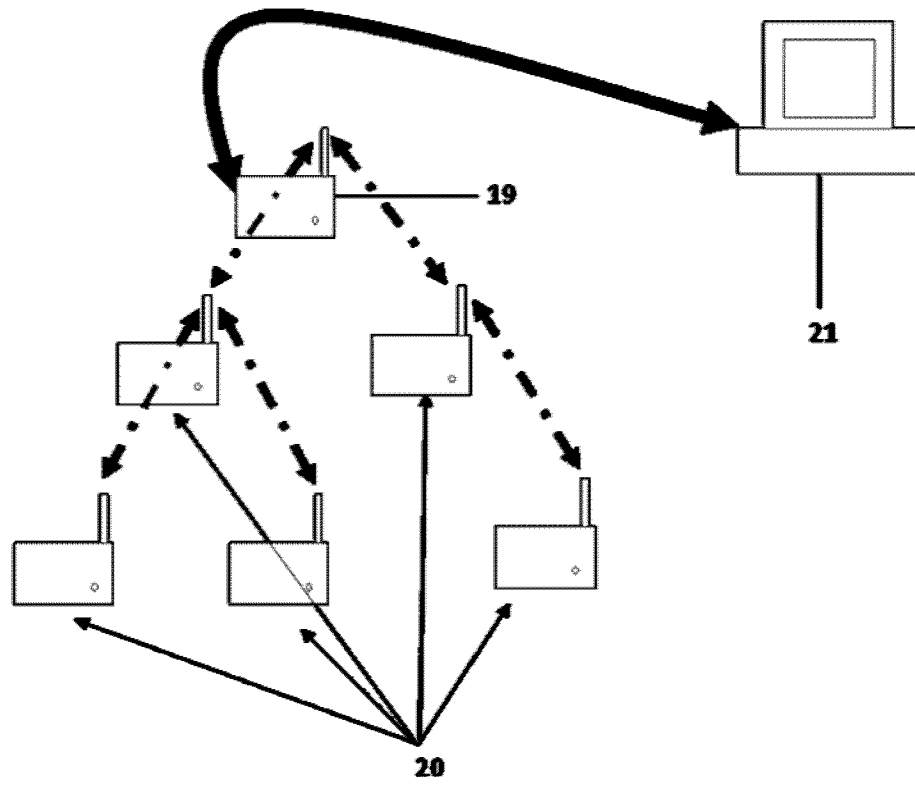


FIG. 21



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201131005

②② Fecha de presentación de la solicitud: 15.06.2011

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01N29/04** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	S. APARICIO et al. "A wireless monitoring system to study the setting and hardening processes of cementitious materials". 10th European Conference on NDT, ECNDT 2010, Moscow, Russia. Moscow, Russia. 07.06.2010.	1-8
Y	N.J. CARINO, H.S. LEW. "The maturity method: from theory to application". Proceedings of the 2011 Structures Congress & Exposition, May 21-23 2001, Washington D.C. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Peter C. Chang, editor, 2001, 19 p. NIST.	1-8
A	WO 2007025172 A2 (APPLIED SENSOR RES & DEV CORP et al.) 01.03.2007, páginas 1-12.	1-8
A	US 2008221815 A1 (TROST STEVEN M et al.) 11.09.2008, párrafos [0007],[0016]-[0049],[0070]-[0215].	1-8

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
12.11.2012

Examinador
B. Tejedor Miralles

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPIEE, XPAIP, INTERNET

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 12.11.2012

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-8
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones
Reivindicaciones 1-8

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	S. APARICIO et al.	07.06.2010
D02	N.J. CARINO, H.S. LEW.	23.05.2001
D03	WO 2007025172 A2 (APPLIED SENSOR RES & DEV CORP et al.)	01.03.2007
D04	US 2008221815 A1 (TROST STEVEN M et al.)	11.09.2008

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**Reivindicación 1:**

Se considera como estado de la técnica más cercano el documento D01. Dicho documento divulga un sistema inalámbrico de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas que comprende al menos un sensor un sensor ultrasónico, un sensor de temperatura, un sensor de humedad, una red de comunicación inalámbrica y un sistema informático. Se diferencia de la primera reivindicación en que no expone explícitamente que calcula la resistencia mecánica. El efecto técnico que se consigue es conocer el endurecimiento del material cementicio. El problema técnico a resolver es implementar el cálculo de la resistencia mecánica con los parámetros elásticos y energéticos-medioambientales monitorizados. El documento D02 proporciona una serie de relaciones matemáticas que permiten calcular dicha resistencia. Por lo tanto un experto en la materia utilizaría el documento D02 para solucionar el problema técnico planteado. Así, la primera reivindicación no presentaría actividad inventiva según el artículo 8.1 de la ley de patentes 11/1986.

Reivindicaciones dependientes 2-7:

Las características técnicas de las reivindicaciones 2-7 se encuentran divulgadas en el documento D01, por lo que dichas reivindicaciones no presentarían actividad inventiva según el artículo 8.1 de la ley de patentes 11/1986.

Reivindicación 8:

Se considera como estado de la técnica más cercano el documento D01. Dicho documento divulga un procedimiento de medida del grado de fraguado y endurecimiento de materiales cementicios para la predicción de resistencias mecánicas, ya que comprende la captura de datos de temperatura, y humedad; captura de una señal ultrasónica para la medida de velocidad de propagación; captura de una señal ultrasónica para la medida del coeficiente de reflexión; envío de todos los registros al nodo principal; procesamiento de las señales; envío al sistema informático. Se diferencia de la reivindicación ocho en que no parece contemplar la última etapa del procedimiento. El efecto técnico que se consigue es obtener la resistencia mecánica del material. El problema técnico a resolver es calcular la resistencia mecánica con los parámetros elásticos y energéticos-medioambientales monitorizados. El documento D02 proporciona las relaciones matemáticas que permiten calcular dicha resistencia. Por lo tanto, un experto en la materia utilizaría el documento D02 para solucionar el problema técnico planteado. Así, la primera reivindicación no presentaría actividad inventiva según el artículo el artículo 8.1 de la ley de patentes 11/1986.